



(51) Int. Cl.⁷:
H 02 N 2/00
F 02 M 51/06
F 02 D 41/20

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

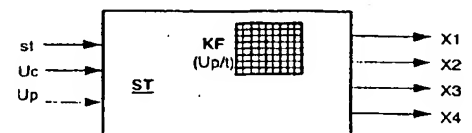
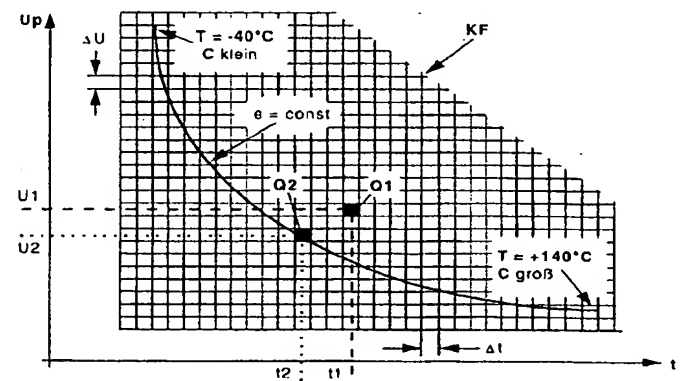
(12) Erfinder:
Hoffmann, Christian, Dr., 93057 Regensburg, DE;
Larisch, Benno, 92421 Schwandorf, DE

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE	196 44 521 A1
DE	196 32 872 A1
US	53 87 834

⑤④ Verfahren und Vorrichtung zum Ansteuern eines kapazitiven Stellgliedes

(57) Verfahren zum Ansteuern eines kapazitiven Stellgliedes (P), insbesondere eines piezoelektrisch betriebenen Kraftstoffeinspritzventils einer Brennkraftmaschine, mit einem vorgegebenen Energiebetrag (e), dadurch gekennzeichnet, daß bei einem Ansteuervorgang des Stellgliedes (P) die Ladung eines auf eine vorgegebene Spannung (Uc) geladenen Kondensators (C) während einer vorgegebenen ersten oder vorausgehenden Ladezeit (t1, tn) wenigstens teilweise auf das Stellglied (P) übertragen wird, und daß die Ladezeit (tn) des folgenden Ansteuervorgangs um einen gespeicherten Betrag ($Q = +\Delta t, 0, -\Delta t$) vergrößert oder verkleinert wird, wenn die im vorausgegangenen Ansteuervorgang erreichte Ladespannung (Up) des Stellgliedes (P) zu klein oder zu groß ist.



[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Ansteuern eines kapazitiven Stellgliedes, insbesondere eines piezoelektrisch betriebenen Kraftstoffeinspritzventils einer Brennkraftmaschine.

[0002] Piezo-Stellglieder bestehen aus einer Vielzahl piezokeramischer Schichten und bilden einen sog. "Stack", der bei Anlegen einer Spannung seine Abmessungen, insbesondere seine Länge s um einen Hub ds verändert, oder bei mechanischem Druck oder Zug eine elektrische Spannung erzeugt.

[0003] Die elektrischen Eigenschaften eines derartigen Piezostacks ändern sich mit der Temperatur, der er ausgesetzt ist. Mit steigender Temperatur vergrößert sich seine Kapazität, aber auch der Hub nimmt zu. Bei den für automotiven Anwendungen zu berücksichtigenden Temperaturen von etwa -40°C bis $+140^{\circ}\text{C}$ sind dabei Änderungen bis zu einem Faktor 2 zu beobachten.

[0004] In der älteren deutschen Patentanmeldung 196 44 521.3 wurde bereits vorgeschlagen, ein kapazitives Stellglied mit konstanter Energie anzusteuern, da eine Aufladung mit konstanter Energie über den benötigten Temperaturbereich einen wesentlich konstanteren Hub erbringt.

[0005] Aus US 5,387,834 ist eine Ansteuerschaltung für ein piezoelektrisches Element eines Matrix-Druckers bekannt, bei welcher ein Temperatursensor die Temperatur des piezoelektrischen Elements fühlt. Die Ansteuerung des piezoelektrischen Elements erfolgt mit Ladezeiten, welche temperaturabhängig in einer Tabelle gespeichert sind.

[0006] Der Hub ändert sich etwa linear mit der angelegten Spannung bei einer bestimmten Stellgliedkapazität bzw. einer bestimmten Temperatur. Ändert sich die Temperatur, so ändert sich auch der Hub bei gleichbleibender Spannung. Hingegen ändert sich der Hub proportional zum Quadrat der aufbrachten Energie ($ds \sim e^2$), aber unabhängig von der Temperatur.

[0007] Einem Stellglied eine bestimmte Energiemenge zuzuführen, ist sehr aufwendig. Beim Gegenstand der älteren deutschen Patentanmeldung 196 44 521.3 müssen Strom und Spannung gemessen, das Produkt daraus aufintegriert, und der Ladevorgang abgebrochen werden, wenn der Integralwert einen vorgegebenen Wert e erreicht. Eine Vereinfachung ergibt sich, wenn das Stellglied mit einem Konstantstrom geladen wird. Dann erübrigt sich eine Multiplikation.

[0008] Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zum Laden eines kapazitiven Stellgliedes mit einem vorgegebenen Energiebetrag anzugeben, welches wesentlich einfacher durchzuführen ist.

[0009] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 gelöst.

[0010] Ein Ausführungsbeispiel nach der Erfindung ist im folgenden unter Bezugnahme auf die schematische Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

[0011] Fig. 1 ein Kennfeld KF für die Ladezeit t und die damit erreichbare Stellgliedspannung U_p ,

[0012] Fig. 2 ein Schaltbild einer Stellglied-Ansteuerschaltung, und

[0013] Fig. 3 ein Flußdiagramm für die Arbeitsweise der Schaltung nach Fig. 2.

[0014] Die Erfindung geht von der Überlegung aus, daß es sich bei den Veränderungen der Stellgliedkapazität um temperaturbedingte Veränderungen handelt, die eine gegenüber dem zeitlichen Abstand aufeinanderfolgender Stellgliedbetätigungen bei einer Brennkraftmaschine sehr große Zeitkonstante aufweisen. Es ist deshalb nicht erforderlich, die Regelung der Aufladung im Regelzyklus (Ansteuervorgang)

selbst durchzuführen. Es genügt vollkommen, eine Regelabweichung in einem Ansteuervorgang festzustellen und diese Regelabweichung im darauffolgenden Ansteuervorgang zu korrigieren.

[0015] Unter Zugrundelegung einer in Fig. 2 dargestellten Schaltung wird das Stellglied P aus einem auf eine vorgegebene Spannung U_c aufgeladenen Kondensator C über eine Umschwingspule L , die zusammen mit dem Stellglied P einen Schwingkreis bilden, während einer für einen ersten Ansteuervorgang vorgegebenen Ladezeit $t = t_1$ aufgeladen. Je nach der von der momentanen Stellglied-Temperatur T abhängigen Kapazität des Stellgliedes P , der einzigen, abhän-

gig von der Temperatur T wesentlich veränderbaren Unbekannten im Schwingkreis, wird dabei eine bestimmte Ladespannung $U_p = U_1$ am Stellglied P erreicht.

[0016] Fig. 1 zeigt ein Kennfeld, auf dessen Abszisse die Zeit t in Schritten Δt für die Ladezeit t und auf dessen Ordinate die in dieser Zeit erreichte Stellgliedspannung U_p in Schritten ΔU aufgetragen sind. In von Fig. 1 abweichenden realen Kennfeldern mit wesentlich kleineren Kennfeldbereichen ist beispielsweise $\Delta t = 1 \mu\text{s}$ und $\Delta U = 0,5 \text{ V}$. In diesem Kennfeld ist zum besseren Verständnis eine experimentell ermittelte Kurve e konstanter Energie eingezeichnet und gespeichert, die sich bei der Schaltung nach Fig. 2 ergibt, wenn das Stellglied P seinen Temperaturbereich durchfährt und dabei seine Kapazität ändert (links oben: kleine Kapazität bei niedriger Temperatur; rechts unten: große Kapazität bei hoher Temperatur). Wird dem Stellglied P diese Energie zugeführt (was der Fall ist, wenn der Schnittpunkt von t und U_p auf der Kurve e liegt), so erreicht man einen konstanten Stellgliedhub über den gesamten Temperaturbereich.

[0017] Der der vorgegebenen Ladezeit t_1 und der damit erreichten Ladespannung U_1 zugeordnete Kennfeldbereich Q_1 liegt oberhalb der Kurve $e = \text{const.}$ Das bedeutet, daß dem Stellglied P ein zu großer Energiebetrag zugeführt wurde. Liegt der Kennfeldbereich unterhalb der Kurve, wurde dem Stellglied ein zu kleiner Energiebetrag zugeführt.

[0018] Es gibt verschiedene Verfahren, um in einem Kennfeld von einem Punkt aus eine Kurve zu erreichen. Der kürzeste Weg führt von dem Punkt auf einer Normalen zur Kurve durch den Punkt. Die einfachste Methode ist eine inkrementelle Annäherung in gleichen Schritten, die nachstehend beschrieben wird. Die Schrittweite kann auch, je nach Entfernung von der Kurve, unterschiedlich groß sein, so daß eine schnelle Annäherung an die Kurve bei großem Abstand erreichbar ist.

[0019] Bei dem Ausführungsbeispiel mit gleich großen inkrementellen Schritten ist in allen Bereichen oberhalb der Kurve e , welche von der Kurve nicht berührt werden, eine negative Zahl -1 eingeschrieben, in allen Bereichen unterhalb der Kurve e eine positive Zahl $+1$, und in allen Bereichen, welche von der Kurve berührt werden, eine 0 . $+1$ bedeutet, daß die nächste Ladezeit um Δt vergrößert werden muß. -1 bedeutet, daß die nächste Ladezeit um Δt verkleinert werden muß. 0 bedeutet, daß die Ladezeit unverändert bleibt. Es kann auch in Bereichen mit geringem Abstand zu der Kurve e eine 0 eingeschrieben werden, damit die Regelung nicht zu "nervös" arbeitet.

[0020] Ausgehend vom Bereich $Q_1(t_1, U_1)$, der bei dem ersten Ansteuervorgang erreicht wird, wird in diesem Ausführungsbeispiel nach zwei oder drei inkrementellen Schritten die Ladezeit t_2 bestimmt, in welcher am Stellglied P eine Ladespannung U_2 , und damit Bereich Q_2 , durch den die Kurve e verläuft, erreicht wird. Bei folgenden Ansteuervorgängen werden nur bei temperaturbedingten Kapazitätsänderungen andere Ladezeiten t eingestellt, wobei dann im wesentlichen Bereiche entlang der Kurve e angesteuert wer-

den.

[0021] Fig. 2 zeigt eine Prinzipschaltung zum Ansteuern eines einzelnen, weiter nicht dargestellten Kraftstoffeinspritzventils einer Brennkraftmaschine über ein piezoelektrisches Stellglied P, mittels einer üblicherweise mikroprozessorgesteuerten Steuerschaltung ST.

[0022] Zwischen dem Pluspol +V und dem Minuspol GND einer Energiequelle liegt eine Reihenschaltung eines gesteuerten, elektronischen, nur in einer Richtung stromdurchlässigen Energieschalters X1 und eines Kondensators C.

[0023] In der weiteren Beschreibung, wenn von Schaltern X1 bis X4 die Rede ist, handelt es sich um elektronische, nur in einer Richtung stromdurchlässige, aus wenigstens einem Halbleiterelement bestehende Schalter, vorzugsweise Thyristorschalter, die von der Steuerschaltung ST angesteuert werden.

[0024] Parallel zum Kondensator C liegt eine Reihenschaltung aus einer mit dem Energieschalter X1 verbundenen Umschwingspule L und einem Ladestopschalter X3, dessen Funktion später erklärt wird.

[0025] Parallel zum Ladestopschalter X3 ist eine Reihenschaltung aus einer Parallelschaltung eines in Richtung von der Umschwingspule L weg stromdurchlässigen Ladeschalters X2 und eines in Richtung zur Umschwingspule hin stromdurchlässigen Entladeschalters X4 und aus einer Parallelschaltung des Stellgliedes P mit einer Diode D, die in Richtung zum Ladeschalter X2 hin stromdurchlässig ist, angeordnet.

[0026] Die Schalter X1 bis X4 werden von einer mikroprozessorgesteuerten Steuerschaltung ST abhängig von einem externen Steuersignal st, von der Kondensatorspannung U_c und von der Stellgliederspannung U_p gesteuert.

[0027] In der üblicherweise mikroprozessorgesteuerten Steuerschaltung ST ist ein Kennfeld KF gemäß Fig. 1 mit Bereichen Q der Größe Δt , ΔU enthalten, in welchen, wie beschrieben, jeweils die Inhalte "+1", "-1", oder "0" gespeichert sind.

[0028] Das Verfahren zum Betreiben der Schaltung nach Fig. 2 wird anhand eines in Fig. 3 dargestellten Flußdiagramms näher erläutert, ausgehend von einem Anfangszustand (Zustand I), in welchem der Kondensator C voll auf die vorgegebene Spannung U_c geladen ist, sämtliche Schalter X1 bis X4 nichtleitend sind und die Umschwingspule L stromlos ist.

[0029] Mit dem Beginn eines externen Steuersignals $st = 1$ (Zustand II) wird der Ladeschalter X2 gezündet (stromleitend gesteuert). Damit beginnt der Kondensator C, sich über die Umschwingspule L in das wie ein Kondensator wirkende Stellglied P zu entladen und dieses aufzuladen (Zustand III), was sich als Längenänderung des Piezostellgliedes auswirkt. Die am Stellglied anliegende Spannung steigt an.

[0030] Zugleich mit dem Ladebeginn erfolgt die Abfrage, ob es der erste Ladevorgang (nach Einschalten des Zündschalters) ist (Zustand IV). Ist dies der Fall, so wird die Ladezeit t_n auf den vorgegebenen Wert t_1 gesetzt (Zustand V).

[0031] Nach Ablauf der Ladezeit (Zustand VII), die, wie alle Zeitmessungen, mit dem internen Takt der Steuerschaltung ausgemessen wird, wird der Ladevorgang beendet, der Ladeschalter X2 wird nichtleitend, $X_2 = 0$, und der Ladestopschalter X3 wird leitend ($X_3 = 1$, Zustand VIII). Der Schwingkreis L-C schwingt weiter, bis die Umschwingspule L stromlos ist. Der Ladezustand des Stellgliedes P bleibt erhalten, solange das Steuersignal st anliegt.

[0032] Nach Beendigung der Aufladung des Stellgliedes P wird die ihm aufgeprägte Spannung U_p gemessen (Zustand IX) und der diesem Wert U_p und der Ladezeit t_n zugeord-

nete Bereich Q_n im Kennfeld KF bestimmt (Zustand X). Anschließend (Zustand XI) wird die Ladezeit t_n um den Inhalt von Q_n korrigiert. Gemäß dem in Fig. 1 beschriebenen Beispiel eines ersten Ansteuervorgangs (Ladevorgangs) war $t_n = t_1$, die damit erzielte Stellgliederspannung U_p war U_1 ; dem entsprach der Kennfeldbereich Q_1 . Dessen Inhalt war "-1", das heißt "-1 · Δt ". Somit ergibt sich für den nächsten Ansteuervorgang: $t_n = t_1 - \Delta t$. Dieser Wert wird in einem dafür vorgesehenen Speicherfeld abgespeichert und beim nächsten Ansteuervorgang (Zustand VI, weil dies dann nicht mehr der erste Ansteuervorgang ist) als Ladezeit vorgegeben.

[0033] Anschließend (Zustand XII) wird abgewartet, bis das Steuersignal st verschwindet ($st = 0$). Wenn es verschwindet, muß das Stellglied entladen werden. Dazu wird der Ladestopschalter X3 nichtleitend gesteuert, $X_3 = 0$, und der Entladeschalter leitend, $X_4 = 1$ (Zustand XIII). Nun entlädt sich das Stellglied P über die Umschwingspule L in den Kondensator C. Ist das Stellglied bis auf die Schwellspannung der Diode D entladen, übernimmt diese den Strom; der Schwingkreis L-C schwingt weiter, bis die Umschwingspule stromlos ist. Schalter X4 wird nichtleitend.

[0034] Zum Nachladen des Kondensators C (Zustand XIV) wird der Energieschalter X1 solange leitend gesteuert, bis der Kondensator C auf die vorgegebene Spannung U_c aufgeladen ist (Zustand XV). Danach wird der Energieschalter X1 wieder nichtleitend gesteuert (Zustand XVI). Damit ist ein Ansteuervorgang des Stellgliedes P beendet und es kann ein neuer beginnen. Statt der Vorgabe einer bestimmten Ladezeit t_n und der Ermittlung der in dieser Zeit erreichten Stellgliederspannung U_p ist es ebenso gut möglich, unter Verwendung desselben Kennfeldes (Fig. 1) eine bestimmte Stellgliederspannung vorzugeben bzw. zu regeln, und die dazu benötigte Ladezeit zu messen.

[0035] Bei Verwendung mehrerer Kraftstoffeinspritzventile in einer Brennkraftmaschine mit kapazitiven Stellgliedern kann eine in der älteren deutschen Patentanmeldung, 196 32 872.1, Fig. 3 oder 4 gezeigte Schaltungsanordnung verwendet werden.

[0036] In der Steuerschaltung kann für jedes Stellglied ein eigenes Kennfeld KF vorgesehen sein, es kann aber auch für alle Stellglieder oder für jede Stellgliedgruppe (Bank) ein umschaltbares Kennfeld vorgesehen sein.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Ansteuern eines kapazitiven Stellgliedes (P), insbesondere eines piezoelektrisch betriebenen Kraftstoffeinspritzventils einer Brennkraftmaschine, mit einem vorgegebenen Energiebetrag (e), dadurch gekennzeichnet,

daß bei einem Ansteuervorgang des Stellgliedes (P) die Ladung eines auf eine vorgegebene Spannung (U_c) geladenen Kondensators (C) während einer vorgegebenen ersten oder vorausgehenden Ladezeit (t_1 , t_n) wenigstens teilweise auf das Stellglied (P) übertragen wird, und

daß die Ladezeit (t_n) des folgenden Ansteuervorgangs um einen gespeicherten Betrag ($Q = +\Delta t$, 0, $-\Delta t$) vergrößert oder verkleinert wird, wenn die im vorausgehenden Ansteuervorgang erreichte Ladespannung (U_p) des Stellgliedes (P) zu klein oder zu groß ist.

2. Verfahren zum Ansteuern eines kapazitiven Stellgliedes (P), insbesondere eines piezoelektrisch betriebenen Kraftstoffeinspritzventils einer Brennkraftmaschine, mit einem vorgegebenen Energiebetrag (e), dadurch gekennzeichnet,

daß bei einem Ansteuervorgang des Stellgliedes (P) die

Ladung eines auf eine vorgegebene Spannung (U_c) geladenen Kondensators (C) auf das Stellglied (P) übertragen wird, bis dieses auf eine vorgegebene Ladespannung (U_p) aufgeladen ist, und daß die Ladespannung (U_p) des folgenden Ansteuervorgangs um einen gespeicherten Betrag ($Q = +\Delta U, 0, -\Delta U$) vergrößert oder verkleinert wird, wenn die im vorausgegangenen Ansteuervorgang benötigte Ladezeit (t_n) zu klein oder zu groß ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Beträge (Q) in Abhängigkeit von Ladespannung (U_p) und Ladezeit (t_1, t_n) in einem Kennfeld (KF) gespeichert sind, wobei die Beträge $Q = 0$ eine experimentell ermittelte Kurve vorgegebener, konstanter Energie ($e = \text{const}$) bestimmen.

4. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen Pluspol (+V) und Minuspol (GND) einer Energiequelle ein Kondensator (C) angeordnet ist, der von der Energiequelle über einen Energieschalter (X1) aufladbar ist,

daß parallel zum Kondensator (C) eine Reihenschaltung aus einer mit dem Energieschalter (X1) verbundenen Umschwingspule (L) und einem Ladestopschalter (X3) angeordnet ist,

daß parallel zum Ladestopschalter (X3) eine Reihenschaltung aus einer Parallelschaltung eines zur Umschwingspule (L) hin stromdurchlässigen Entladeschalters (X4) und einer von der Umschwingspule (L) weg stromdurchlässigen Ladeschalters (X2) und aus einer Parallelschaltung des Stellgliedes (P) mit einer Diode (D), die in Richtung zum Ladeschalter (X2) hin stromdurchlässig ist, angeordnet ist, und daß eine Steuerschaltung (ST) vorgesehen ist,

in welcher vorgegebene Werte für Kondensatorspannung (U_c) und Stellgliedladezeit (t_1) oder Ladespannung (U_p) gespeichert sind,

in welcher ein Kennfeld (KF) vorgesehen ist, in dessen Bereichen abhängig von der Ladezeit (t_n) und der Ladespannung (U_p) des Stellgliedes (P) Korrekturbeträge ($\Delta t, \Delta U$) für die Ladezeit (t_n) oder für die Ladespannung (U_p) gespeichert sind, und

welcher ein externes Steuersignal (st) und die gemessenen Werte der Kondensatorspannung (U_c) und der Stellgliedspannung (U_p) zugeführt werden, und welche die Schalter (X1 bis X4) gemäß dem Verfahren nach Anspruch 1 oder 2 steuert.

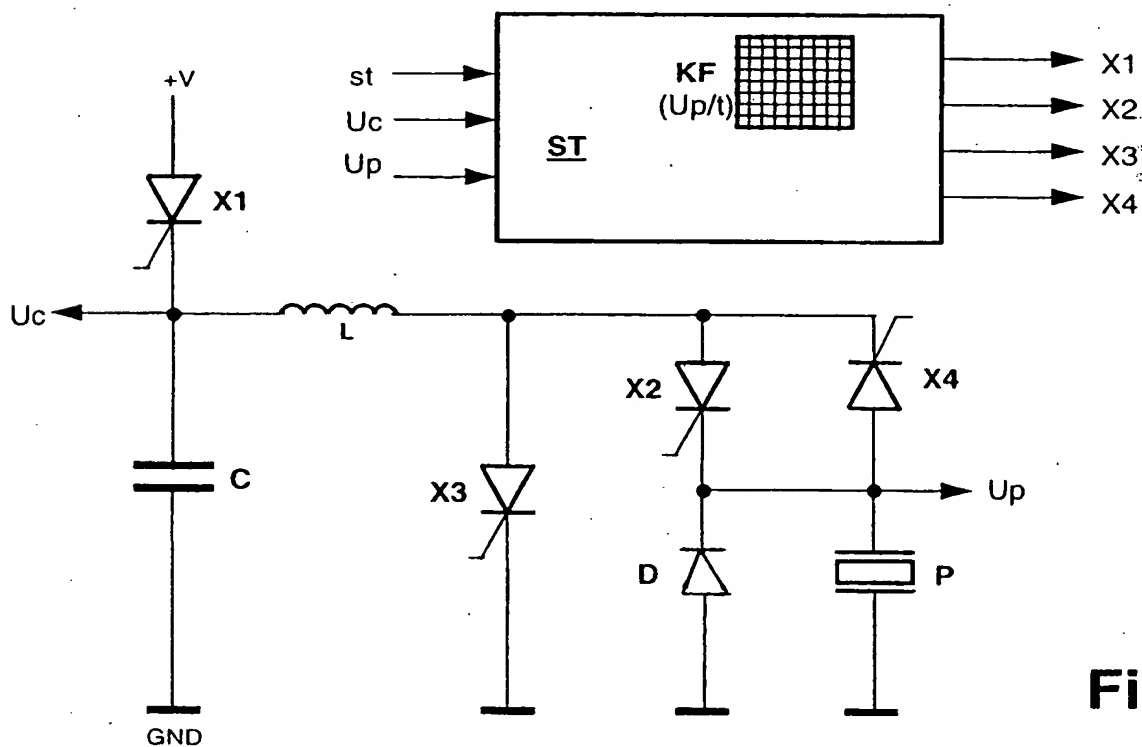
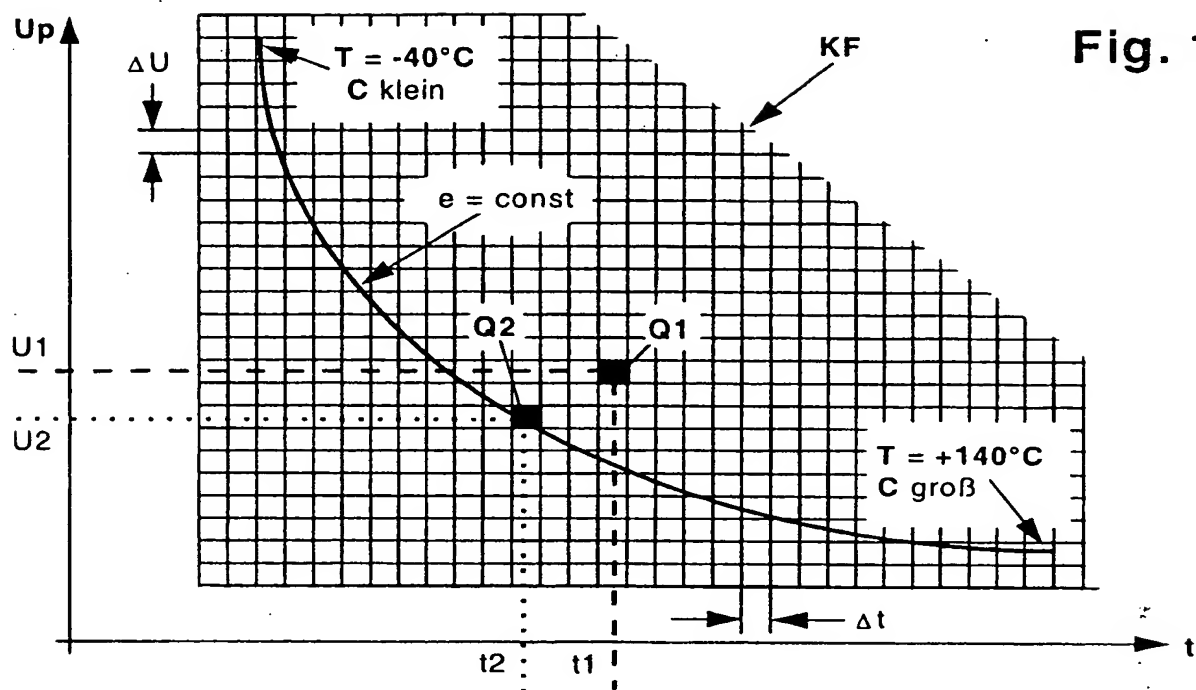
5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß für jedes einzelne Stellglied (P), für jede Gruppe von Stellgliedern oder für alle Stellglieder gemeinsam ein Kennfeld (KF) vorgesehen ist.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

55

60

65



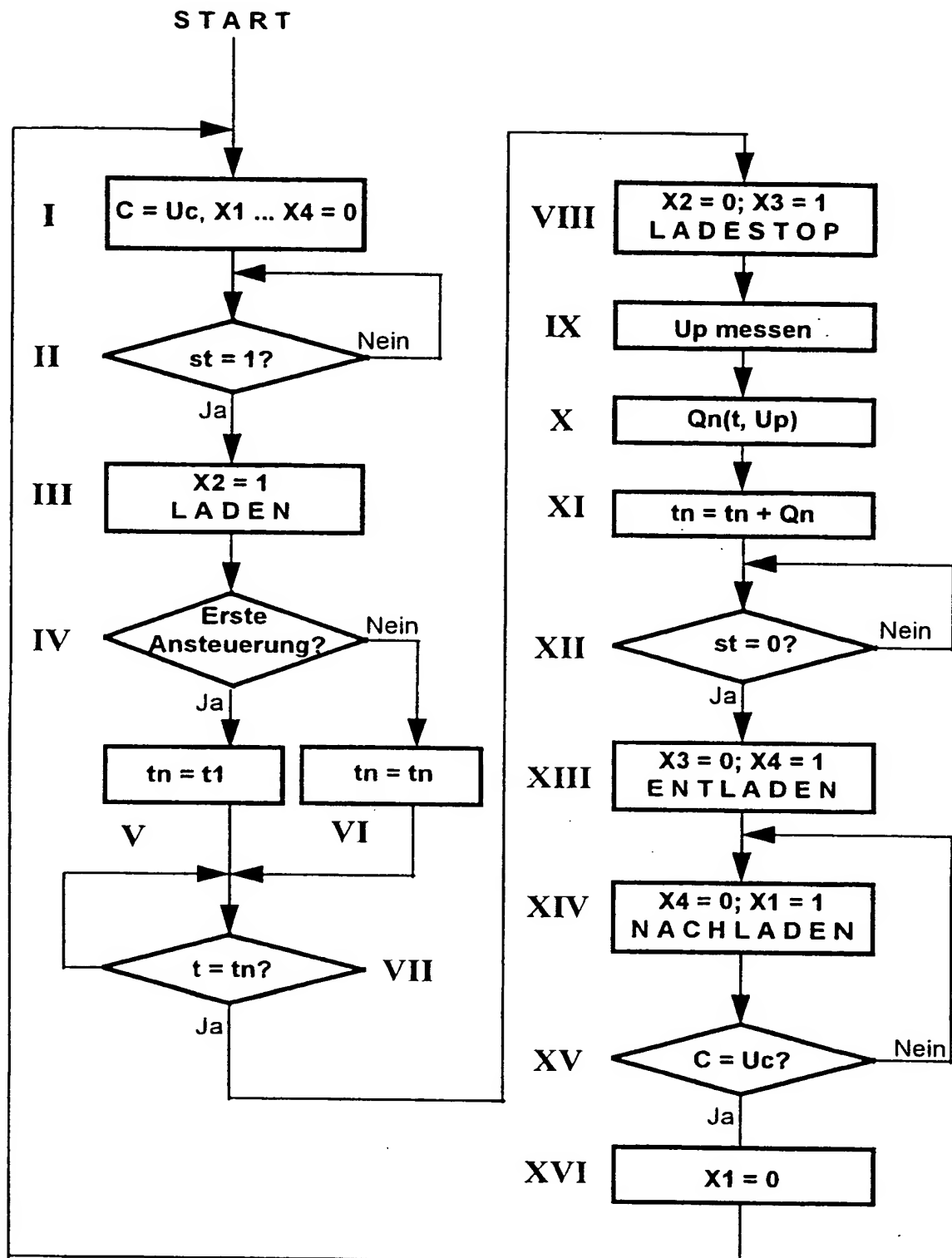
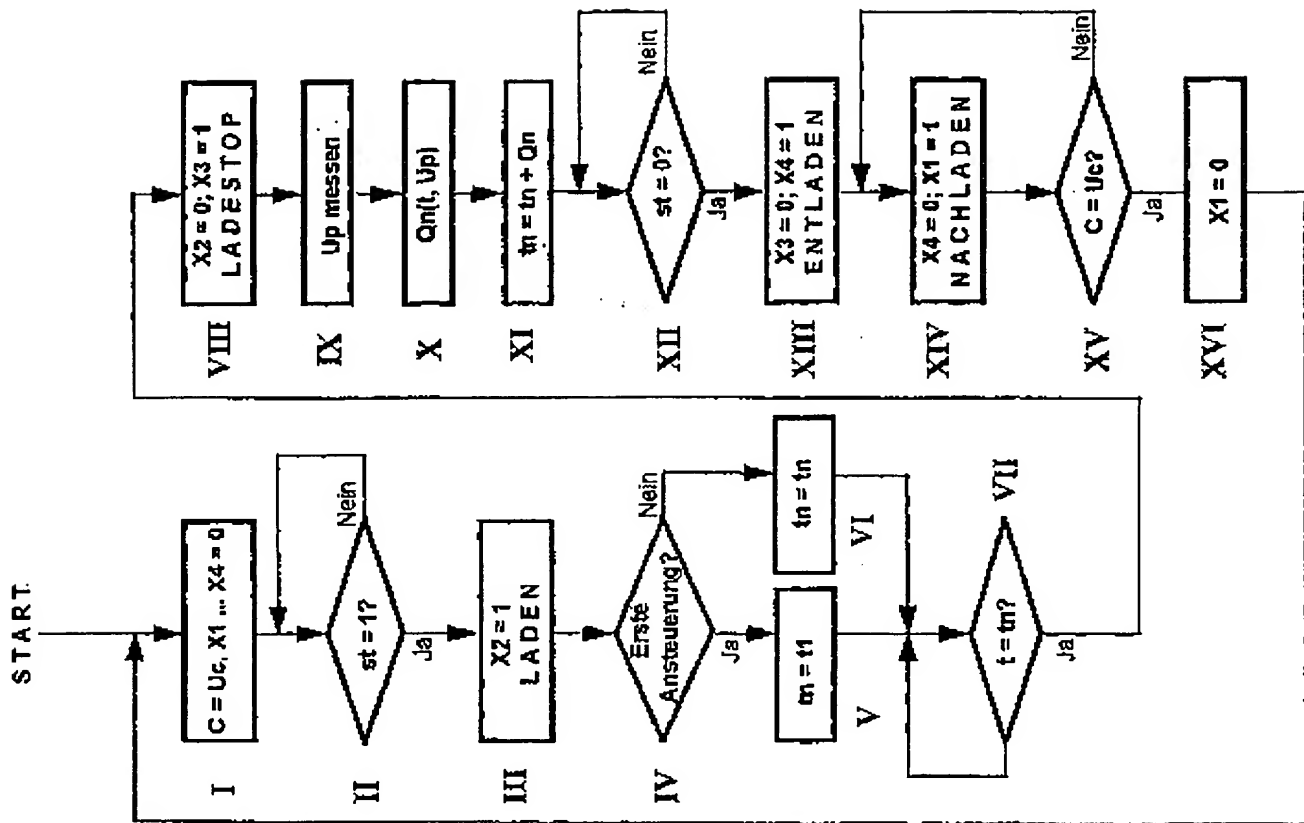


Fig. 3

AN: PAT 1998-349360
TI: Driving capacitive actuator element esp. piezoelectrically driven fuel injection valve for IC engine involves at least partly transferring charge from capacitor charged up to predefined voltage to control element over defined charging period corrected depending on previous charging time and voltage
PN: DE19652807-A1
PD: 25.06.1998
AB: The method involves driving the control element with a predefined quantity of energy. During a drive process the charge from a capacitor charged up to a predefined voltage is at least partially transferred to the control element over a defined charging period. The charging period of the subsequent drive process is changed by value stored in a region of a characteristic field associated with the charging period and the charging voltage reached during the charging period.; USE - For e.g. diesel IC engine. ADVANTAGE - Essentially simplified method of charging capacitive control element with predefined quantity of energy is achieved.
PA: (SIEI.) SIEMENS AG;
IN: HOFFMANN C; LARISCH B;
FA: DE19652807-A1 25.06.1998; DE59710480-G 28.08.2003; WO9827600-A1 25.06.1998; EP946999-A1 06.10.1999; US6157174-A 05.12.2000; DE19652807-C2 29.08.2002; EP946999-B1 23.07.2003;
CO: AT; BE; BR; CH; CN; CZ; DE; DK; EP; ES; FI; FR; GB; GR; IE; IT; KR; LU; MC; MX; NL; PT; SE; US; WO;
DN: BR; CN; CZ; KR; MX; US;
DR: AT; BE; CH; DE; DK; ES; FI; FR; GB; GR; IE; IT; LU; MC; NL; PT; SE;
IC: F02D-041/20; F02M-051/06; H01L-041/04; H01L-041/08; H02J-007/00; H02N-002/00;
MC: V06-M06D1; V06-N07; V06-U03; X22-A03A1;
DC: Q52; Q53; V06; X22;
FN: 1998349360.gif
PR: DE1052807 18.12.1996;
FP: 25.06.1998
UP: 05.09.2003

THIS PAGE BLANK (USPTO)



THIS PAGE BLANK (USPTO)

Docket # 83-05 P 04867

Applic. # 10/ 567, 627

Applicant: Aspellmayr et al

Lerner Greenberg Sterner LLP
Post Office Box 2480
Hollywood, FL 33022-2480
Tel: (954) 925-1100 Fax: (954) 925-1101